

## ミシン針の貫通力と布の物性

川西 定子

(武庫川女子大学生生活環境学部生活環境学科)

### The Relation between Penetration Force of Sewing Needle and Fabric Properties

Sadako Kawanishi

*Department of Human Environmental Science*

*School of Human Environmental Sciences*

*Mukogawa Women's University, Nishinomiya 663-8558, Japan*

The penetration force of sewing needle has been estimated using fabric properties. The penetration force was measured by Simple Compression Tester with a sewing needle and a specimen holder attached to it. Many kinds of woven fabrics were used and the needle diameters were varied four times. As a result, the penetration force,  $W_{p,2}$  increases exponentially with  $r/R$  ( $r$ ; the radius of needle blade,  $R$ ; the radius of throat plate hole), which is shown by a following formula;  $W_{p,2}=K(r/R)^n$ . While  $n$  is constant;  $n=3$ ,  $K$  depends on the sample fabrics and is estimated from the fabric property value,  $X_i$ , using the following formula,  $K=C \cdot X_1^{a_1} \cdot X_2^{a_2} \cdot X_3^{a_3} \cdots X_i^{a_i}$ .  $C$  and  $a_i$  are constant, and  $a_i$  is determined by  $X_i$ . The formula was derived by the stepwise residual regression method.  $X_i$  is determined on the four fabric properties of shear stiffness, weave density, weight and compression energy. The exponential coefficient of shear stiffness is the largest of the four properties and shear stiffness affects greatly the penetration force of sewing needles. The values of the penetration force calculated using the formula agreed well with those measured in this experiment.

## 緒 言

ミシンの高速縫製によって縫製布に損傷や破損が生じることを地糸切れと呼んでいる。地糸切れにはミシン針が布を貫通する時の摩擦抵抗によって生じる機械的な損傷と針の貫通仕事が熱に変換されて、針の温度上昇に伴って地糸が溶融する熱的損傷がある。いずれの損傷もミシン針と布との相互作用に起因し、針が布を貫通するときの摩擦抵抗を知ることが重要である。故に従来からミシン針の貫通に関する種々の研究が行われてきた。

針貫通時のミシン条件に関しては縫製速度やミシン針と貫通力の関係、縫製布に関してはその物性と貫通力の関係について報告されている。前者のミシ

ン条件が貫通力に及ぼす影響については種々の研究が行われ、地糸の損傷を低下させるために、新しいミシン針の形状や表面仕上げ方法が考案される等実用上への成果が大きい。布物性と貫通力に関しては、両者の関係を定性的に分析した報告がみられる<sup>1)</sup>。山田ら<sup>2)</sup>はミシン針が試料を貫通した後、針穴が残らないグループと残るグループに判別し、前者の貫通力を推定する式を見いだしている。筆者は前報<sup>3)</sup>で貫通力に影響を及ぼす布の因子を分析し、試料により貫通力への主に影響を与える因子は異なることを報告した。またフィルム試料を用いてその物性からミシン針の貫通力を予測する実験式を導いた<sup>4)</sup>。式にはミシン針の太さのパラメータが含まれている。この式を織物試料に拡張して発展させた。

すなわち、布物性とミシン針の貫通力の関係を分析し、段階的残差回帰方式<sup>5)</sup>を用いて、物性が貫通力に寄与する度合を表わす予測式を精度よく提示することができたので報告する。

## 実験方法

### 1. 貫通力の測定方法

ミシン針の貫通力はハンディー圧縮試験機(KES-G5:カトーテック製)を利用し、Fig. 1. に示すように圧縮子に代えてミシン針を取り付け、試料台には布つかみ具を設置した。布つかみ具はミシンの針板相当板(円形)と押さえ相当板から構成され、幅3cmの試験片1枚を両者の間にばねで押さえて固定した。針板相当板と押さえ相当板の中央にいずれも直径2.2mmの穴(JIS B9082)をあけた。ミシン針の先が針板相当板の上面から下方に14mmの位置まで、600mm/minの定速で下降、上昇する時の貫通、引抜き力-針移動量曲線を記録した。なおミシン針に発生する力は針に連結された力計によって測定され、針の変位量はポテンションメーターによって検出される。ミシン針は針径の異なる工業用本縫いミシン針DB×1 9, 11, 14, 16号を用いた。貫通力の測定は20℃, 65%RHの恒温恒湿室で行い、同じ条件で20回繰り返した。

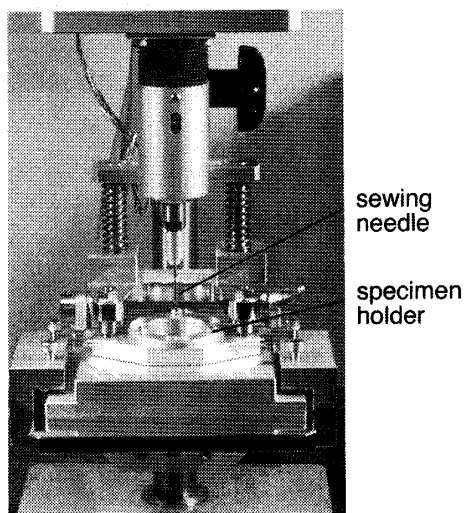


Fig. 1. Tester for measurement of penetration force

### 2. 試料布および試料布物性の測定

試料布には素材や厚さ等の異なる広範囲の45種類の織布を使用した。これらをTable 1. に示す。Aグループは毛織物、B, Cグループはほとんどが綿織物で、BはCより厚みがある。Dはブロード

のグループである。Eはキュプラ、絹、ポリエステル素材の薄地のグループであり、Fは朱子織物のグループである。Aグループには多くの綾織が含まれ、B, Cグループにも少し綾織が含まれる。

貫通力に関係すると予想される試料布の物性を測定した。すなわち、構成糸の太さD, 織密度n, 厚さT(島津製作所製、織物厚さ測定器による)、重さW, カバーファクターCF, 充填率PF, KESシステムによるせん断剛性G, 曲げ剛性B, 圧縮仕事量WCおよび円筒法<sup>3)</sup>により構成糸と金属間の動摩擦係数 $\mu$ を測定した。

## 実験結果および考察

測定した貫通、引抜き力-針移動量曲線をFig. 2. に示す。曲線の形状はミシン針の形状、試料布の構造や物理的性質および針の先端が布組織のどの部分を貫通するかによって異なるが、針の形状に対応して表れるピークの位置は変わらない。針径が大きい糸穴近辺のピークの貫通力 $W_{p,2}$ はほとんどの場合最大を示す。この最大貫通力 $W_{p,2}$ を代表として用い以後の検討を行った。

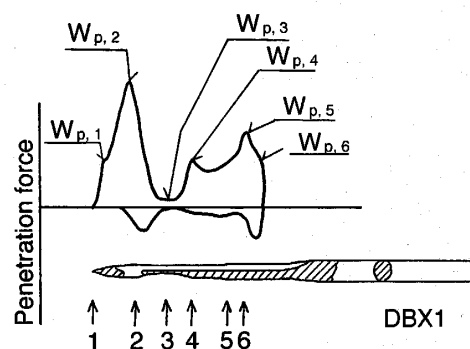


Fig. 2. Correspondence of penetration force curve to sewing needle position

### 1. 布物性と貫通力 $W_{p,2}$ の関係

試料布の物性と貫通力 $W_{p,2}$ の関係を検討する。せん断剛性Gと貫通力 $W_{p,2}$ の関係をFig. 3. に示す。せん断剛性の増加に伴って貫通力は高くなり、両者には良好な相関性(相関係数0.807)が見られた。

他の物性と貫通力の間には高い相関は認められなかった。しかし、重さWと貫通力 $W_{p,2}$ との間(図省略)には全体的な相関性は認めにくい、重さの小さいEグループと、重さが比較的大きなBグループでは、各々のグループ内で重さと貫通力の間に相関がみられた。

Table 1. Material and Structure Factor of Fabric Samples

Sample code	Material	Weave	Density (cm <sup>-1</sup> )		Thickness (mm)	Weight (g / m <sup>2</sup> )
			Ends	Picks		
A-1	Wool	Twill	8	8	0.34	192.0
)						
A-10		Plain	47	30	1.14	284.5
B-1	Cotton · Polyester	Twill	25	16	0.40	144.3
)	Ramie · Vinyon					
B-9	Acrylic	Plain	48	34	0.67	284.8
C-1	Cotton Ramie	Plain	24	22	0.23	97.5
)		Twill				
C-10		Crape	56	34	0.35	168.0
D-1	Cotton polyester	Plain	40	24	0.19	78.5
)						
D-5			68	36	0.25	135.8
E-1	Cupra	Plain satin	40	28	0.08	51.8
)	Rayon · Silk					
E-6	Polyester		164	44	0.18	109.8
F-1	polyester	satin	44	25	0.14	84.5
)	Polynosic					
F-5	Cupra · Wool		146	48	0.53	207.8

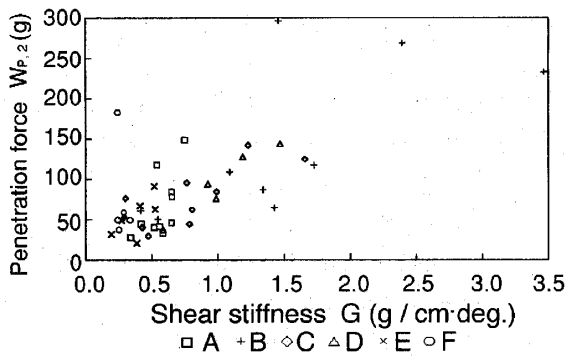


Fig. 3. Relationship between penetration force,  $W_{p,2}$  and shear stiffness,  $G$  sewing needle DBx1 14

カバーファクター CF と貫通力  $W_{p,2}$  の関係を Fig. 4. に示す. 重さと同様に全体的には相関が認められないが, 図の一点鎖線よりカバーファクターが大きい試料を除けば, カバーファクターの上昇とともに貫通力は増加する傾向が窺える. 一点鎖線より右の試料は F グループの朱子織と A, B グループに属する綾織で, 糸が比較的細く密度が大きいためカバーファクターが大きい. しかし, これらの朱子織, 綾織試料は Fig. 3. よりせん断剛性が比較

的小さく, ミシン針が布を貫通した時, 地糸の移動が生じやすいために, 貫通力は上昇しないと考えられる. したがって, これらの試料ではカバーファクターに比べて貫通力が低下している.

以上のように試料によっては, 布の構成因子である重さ, カバーファクターに貫通力が依存性している.

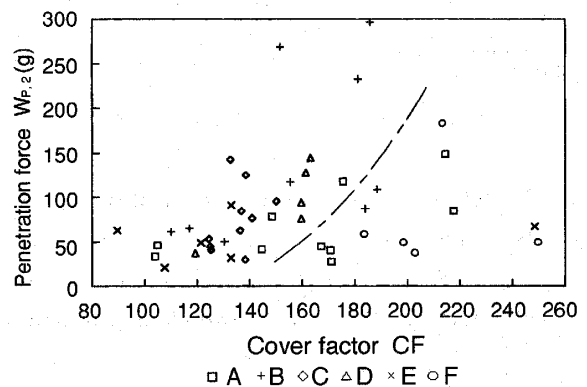


Fig. 4. Relationship between penetration force,  $W_{p,2}$  and cover factor, CF sewing needle DBx1 14

## 2. 布物性による貫通力 $W_{p,2}$ の予測

試料物性と貫通力  $W_{p,2}$  との回帰分析を行い回帰式を求めて貫通力  $W_{p,2}$  を予測した。その際、試料物性の貫通力  $W_{p,2}$  への寄与が明確化できる段階的残差回帰方式<sup>5)</sup>を用いて次のように行った。

ミシン針は複雑な形状をしているので針の位置によって太さが異なる。貫通力  $W_{p,2}$  が発生する部位の糸穴近辺の針半径は針幹の半径  $r$  よりやや大きい  $r$  に近似できる。ミシン針が布に侵入している過程では針板の穴部分の地糸に変形が生じて、貫通力が発生している。針板の穴の大きさによって地糸の変形のしやすさが異なり貫通力に影響を与えている。そこで前報<sup>4)</sup>と同様に針板の穴半径に対する針幹半径の値  $r/R$  を横軸にとり、 $r/R$  に対する貫通力  $W_{p,2}$  の依存性を代表例について Fig. 5. に両軸対数で示した。フィルム試料<sup>4)</sup>と同様に織布においても両者には直線関係がみられ、貫通力  $W_{p,2}$  は  $r/R$  に対し指数関数的に増加している。したがって、(1)式が成立する。

$$W_{p,2} = K(r/R)^n \quad \dots\dots (1)$$

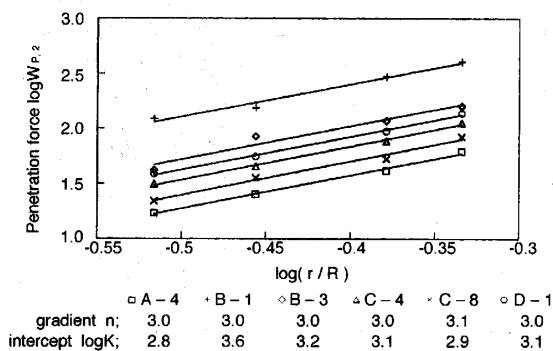


Fig. 5. Relationship between penetration force,  $W_{p,2}$  and  $r/R$

$r$  and  $R$  are the radius of the needle blade and that of the throat plate hole respectively

図に記したように直線の傾斜  $n$  には試料による大差が認められなかったが、切片  $K$  は試料によって異なっている。 $n$  には全試料の平均値 3.0 を用いた。 $K$  は試料によって決まる定数であり、試料の物性値  $X_i$  の関数として(2)式で表せると仮定する。

$$K = C \cdot X_1^{a_1} \cdot X_2^{a_2} \cdot X_3^{a_3} \cdot \dots \cdot X_i^{a_i} \quad \dots\dots (2)$$

(2)式の両辺を対数で表わすと(2')式のように書き換えられる。

$$\begin{aligned} \text{LOG } K = & \text{LOG } C + a_1 \text{ LOG } X_1 + a_2 \text{ LOG } X_2 \\ & + a_3 \text{ LOG } X_3 \cdot \dots + a_i \text{ LOG } X_i \quad \dots\dots (2') \end{aligned}$$

ここで  $C$  は定数、指数  $a_i$  は試料の物性によって決まる定数である。

(1)式に実測値  $W_{p,2}$ ,  $r/R$  および  $n=3$  を代入して求めた  $K$  の対数  $\text{LOG } K$  を目的変数に、物性値の対数  $\text{LOG } X_i$  を説明変数にして段階的残差回帰方式により試料物性および  $C$ ,  $a_i$  を決めた。

段階的残差回帰方式は次のように説明される。

- (2')式の  $\text{LOG } K$  と先に述べた 10 の試料物性値  $\text{LOG } X_i (i=10)$  との相関が最も高い物性を第 1 因子  $X_1$  と決定し、その回帰式を  $\hat{y}_1 = c_1 + a_1 \text{ LOG } X_1$  と表す。
- $\text{LOG } K$  と  $\hat{y}_1$  との残差  $e_1$  を全ての試料について計算し、 $e_1$  と第 1 因子以外の物性との相関が最も高い第 2 因子  $X_2$  を決定し、回帰式  $\hat{y}_2 = c_2 + a_2 \text{ LOG } X_2$  が得られる。ここまでの全体の回帰式  $Y = \hat{y}_1 + \hat{y}_2$  が求められる。
- 同様に  $e_1$  と  $\hat{y}_2$  との残差  $e_2$  と、残りの物性との相関が最も高い第 3 因子  $X_3$  を決定し、回帰式  $\hat{y}_3 = c_3 + a_3 \text{ LOG } X_3$  が得られる。ここまでの全体の回帰式は  $Y = \hat{y}_1 + \hat{y}_2 + \hat{y}_3$  と表わされる。
- 以下同様にして順次因子を決定し、残差が 0 に近づくまで繰り返す、最終的に次の回帰式

$$\begin{aligned} Y = & \hat{y}_1 + \hat{y}_2 + \hat{y}_3 \cdot \dots \hat{y}_i \\ = & c_1 + c_2 + c_3 \cdot \dots + c_i + a_1 \text{ LOG } X_1 + \\ & a_2 \text{ LOG } X_2 + a_3 \text{ LOG } X_3 \cdot \dots + a_i \text{ LOG } X_i \\ = & \text{LOG } C + a_1 \text{ LOG } X_1 + a_2 \text{ LOG } X_2 + \\ & a_3 \text{ LOG } X_3 \cdot \dots + a_i \text{ LOG } X_i \end{aligned}$$

が得られる。ここで  $c_1 + c_2 + c_3 \cdot \dots + c_i = \text{LOG } C$  とおく。なお、物性値  $X_i$  は規格化して、 $X_i = \{(\text{測定値} - \text{平均値}) / \text{標準偏差}\} + 3$  で表した。

上述の方法で段階的に回帰した過程を Fig. 6. に示す。また貫通力の実測値  $W_{p,2}(\text{meas.})$  と式による計算値  $W_{p,2}(\text{cal.})$  との相関係数を Fig. 7. に示した。回帰の繰り返し回数が増し、物性の数が増加するに伴って回帰精度は上昇し飽和に近づく。6 段階まで回帰を行った結果から、段差が 0 に最も近づき、相関係数が最大を示している 4 段階までを採用した。その結果、(2)式は(3)式のように表わされる。

$$K = 58.5 G^{1.61} \cdot n^{0.60} \cdot W^{0.23} \cdot WC^{-0.24} \quad \dots\dots (3)$$

STEP	1	2	3	4	5	6
	G 0.717	n 0.398	W 0.198	WC 0.230	D 0.155	B 0.104
	CF 0.285	CF 0.368	B 0.182	D 0.100	T 0.086	CF 0.054
	B 0.259	WC 0.352	T 0.159	CF 0.076	CF 0.081	T 0.047
	W 0.236	D 0.268	CF 0.142	B 0.041	PF 0.078	$\mu$ 0.02
	$\mu$ 0.210	PF 0.234	WC 0.097	PF 0.027	$\mu$ 0.062	PF 0.004
	T 0.105	T 0.129	D 0.044	$\mu$ 0.018	B 0.000	
	n 0.076	$\mu$ 0.121	$\mu$ 0.043	T 0.017		
	WC 0.054	W 0.018	PF 0.018			
	PF 0.052	B 0.012				
	D 0.030					

Fig. 6. Process of stepwise residual regression

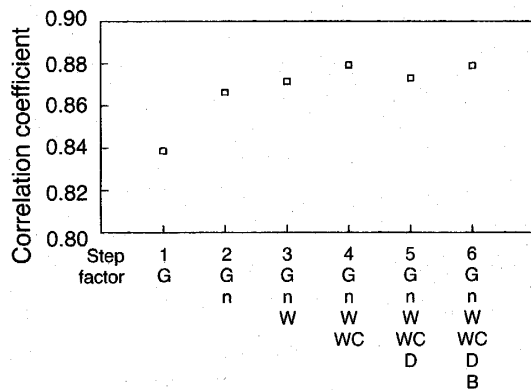


Fig. 7. Dependence of correlation coefficient between values of penetration force calculated and those measured on factors

物性値は規格化しているので、物性の係数が大きいほど  $K$  に寄与する割合、ひいては、貫通力  $W_{p,2}$  に寄与する度合いが大きいことを示している。せん断剛性  $G$  の係数が他の物性の係数に比較して非常に大きく貫通力  $W_{p,2}$  に大きな影響を与えていることが分かる。次いで、織密度  $n$  の影響がみられるが、

その係数は小さく、さらに重さ  $W$ 、圧縮仕事量  $WC$  の係数はより低下し、貫通力  $W_{p,2}$  への寄与は小さいことを示している。いいかえれば、せん断剛性  $G$  のみでも Fig. 7. の相関係数は 0.84 を示して大きく、おおよその貫通力が予想されとも考えられる。しかし、せん断剛性に織密度  $n$  が加わると急激に相関係数が増加する。さらに重さ  $W$  および圧縮仕事量  $WC$  が加えられて力学的特性と構成因子の 4 物性を用いることによって実測値と計算値の相関係数は 0.88 に上昇し、Fig. 8. に示すように両者には高い相関性が認められた。したがって、上述の式は貫通力  $W_{p,2}$  を精度よく予測できる式であると云える。しかし、試料によっては式による計算値が実測値からやや離れるものがみられるが、貫通力はミシン針が織地の空隙か、たて糸かよこ糸かあるいは糸の交絡点かいずれに侵入するかによって変動するので、そのばらつきの範囲で予測できた。

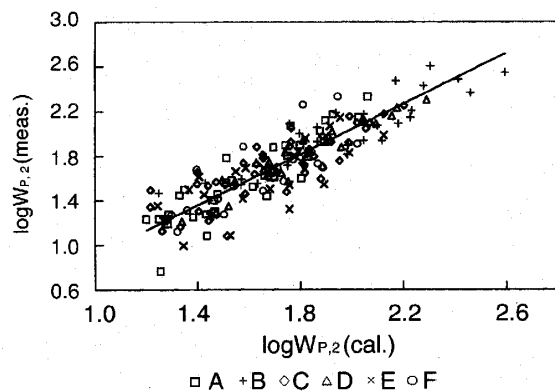


Fig. 8. Relationship between values of penetration force measured and those calculated

## まとめ

ミシン針の貫通力は簡易形圧縮テスターを利用し、多種類の織布を用い、針の太さを 4 段階に変化して測定した。

その結果、貫通力  $W_{p,2}$  は  $r/R$  ( $r$ : 針幹の半径,  $R$ : 針板穴の半径) に対し指数関数で増加し、(1) 式が得られた。式の指数  $n=3$  となった。  $K$  は試料によって変化し、布の物性を用いて、(3) 式から予測した。(3) 式は段階的残差回帰方式によって誘導され、せん断剛性、織密度、重さおよび圧縮仕事量の 4 物性が用いられた。せん断剛性の指数が最も大きく、ミシン針の貫通力に大きく影響を与えている。

(川西)

式を用いた貫通力の計算値は実測値とよく一致した。

### 参考文献

- 1) 大池仁美, 中保治郎, 村瀬美代子, 藤原節子,  
稲垣寛, 小森尚志, 島崎邦夫; 織学誌, **45**, 66  
-73(1989)
- 2) 山田洋子, 森美由紀, 丹羽雅子; 織消誌, **35**,  
271-277(1994)
- 3) 川西定子, 佐々木寿美子, 堀野恒雄, 弓削治;  
織消誌, **28**, 472-479(1987)
- 4) 川西定子, 弓削治, 森下敏彦, 堀野恒雄; 織消  
誌, **32**, 534-541(1991)
- 5) 川端季雄; 風合い評価の標準化と解析, 第2  
版, 日本繊維機械学会, (1980)